

표면의 이슬 맺힘 저감을 위한 냉장고 가스켓 및 냉동냉장실 내벽 구조개선에 관한 연구[§]

강석훈* · 김성진* · 김주환** · 민준기*** · 손창민* · 박상후****†

* 부산대학교 기계공학부, ** LG전자 냉장고 연구소,
*** 부산대 롤스로이스 대학기술센터, **** 부산대학교 기계공학부/정밀정형및금형가공연구소

A Study on the Design Parameters of a Gasket and Innercase of a Refrigerator to Reduce Dew Generation on the Outer Surface

Seok Hoon Kang*, Seong Jin Kim*, Ju Hwan Kim**, June Kee Min***, Chang Min Sohn* and Sang Hu Park****†

* School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.,

** LG Electronics Ref. R&D Lab.,

*** Rolls-Royce PNU UTC.,

**** ERC/NSDM, School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

(Received June 21, 2011 ; Revised December 29, 2011 ; Accepted January 5, 2012)

Key Words: Dew Generation(이슬 맺힘), Conduction(열전도), Heat Flux(열유속), Gasket(가스켓), Inner-Case Thickness(내벽 두께)

초록: 최근 사용자의 편의성과 냉장고 저장 공간의 확보를 위해 냉장고 문과 내벽을 얇게 제작하고 있다. 따라서 냉기차단 벽두께의 감소로 인하여 내·외부 온도차가 일정수준 이상으로 발생하고 이에 따라 표면의 이슬 맺힘 현상이 문제가 되는데, 이는 냉장고 설계에 있어 해결되어야 할 중요한 문제이다. 문제를 해결하기 위해 지금은 일반적으로 전기히터와 같은 발열체를 사용하였는데, 이 경우에 불필요한 전력소모가 뒤따른다. 본 연구에서는 기존방식과 달리 전기를 사용하지 않고 기계적 구조변경을 통한 해결방안으로 가스켓 최적화와 냉동냉장실 내벽두께 조정을 통해 표면에 이슬 맺힘 현상을 저감하는 방법을 제안한다. 해석결과를 살펴보면, 히터의 사용 없이 이슬 맺힘이 발생하는 부분에서의 온도가 국부적으로 0.39~3.07℃까지 상승하는 효과를 얻어서 이슬 맺힘 현상을 저감시켰다.

Abstract: Current refrigerators are designed to have thin doors and walls to facilitate user convenience and increase inner storage space. However, the thin doors and walls gives rise to the problem of dew generation on the outer surface of a refrigerator due to a large critical temperature difference between the outer wall and the room air; So far, an electric heater is commonly used for making the dew to evaporate; in this case, the heater inevitably requires additional electrical power. We propose a new approach to reduce the dew generation in a refrigerator by redesigning the gasket and varying the thickness of the inner case of the refrigerator. The results of simulations performed in this study indicate that the surface temperature in the region where dew was generated was increased by approximately 0.39~3.07 °C without the use of a heater.

1. 서 론

일반적으로 이슬 맺힘은 내·외부 온도차에 의해 발생이 되는데 이러한 이슬 맺힘 현상은 물체

를 부식시키거나, 표면특성을 변화시키기 때문에 방지해야할 현상이다. 냉장고는 내·외부 온도 차이가 큰 대표적인 가전제품으로 고온다습한 환경에서 표면에 이슬 맺힘 현상을 비교적 쉽게 살필 수 있다. 최근에는 내부 저장 용량을 증가시키기 위해 냉장고 벽면 단열재를 최소두께로 설계하기 때문에 단열재의 두께 절감으로 단열효과 저감에 의해 이슬 맺힘 현상이 발생할 수 있다.⁽¹⁻³⁾ 냉장고 설

§ 이 논문은 대한기계학회 2011년도 부산지회 춘계 학술대회(2011. 5. 14., 부경대) 발표논문임

† Corresponding Author, sanghu@pusan.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

계에서 표면 이슬 맺힘 현상을 방지하기 위해서 사용하는 기존의 방법을 살펴보면 가장 일반적으로는 열선(heater)을 이슬 맺힘이 잘 발생하는 부분에 심어서 온도차를 줄이고 또한 생성된 이슬을 열로 건조시키는 방법을 사용한다. 그러나 이 경우 필연적으로 전력소모 문제가 발생되기 때문에 최근 상대적으로 고온인 실내 온도를 이슬 맺힘이 잘 발생하는 부분까지 끌어오는 방식을 제안하기도 하였다.⁽¹⁾ 그러나 이러한 방식도 외부열원을 유도하기 위한 열전달 매체를 냉장고 도어 또는 벽면에 부착해야 하기 때문에 제작 시 비용증가가 예상된다.

따라서 본 연구에서는 기존의 연구와는 달리 냉장고 도어에 부착된 가스켓(gasket) 형상 최적화와 냉동·냉장실 내벽(inner-case) 두께를 국부적으로 줄여서 냉장고 내부의 저온이 외부로 전달되는 것을 방지하는 방안에 대하여 제안하고자 한다. 제안하는 방법은 기존의 연구와 비교해 볼 때, 전력소모도 없고 새로운 부착물로 인한 조립성 문제도 최소화 할 수 있다.

2. 현상분석

2.1 이슬 맺힘 현상 발생 메커니즘

일반적으로 이슬점(dew point) 또는 노점은 공기가 포화되어 수증기가 응결될 때의 온도를 말한다. 표면에 비해 상대적으로 높은 주변 분위기 온도로 인해 표면에 수증기가 응축되어 발생된다. 따라서 냉장고 표면에 이슬 맺힘을 줄이기 위해서는 냉장고 내의 차가운 공기를 완벽하게 차단하여 표면으로 누설되는 것을 방지하는 것이 핵심기술이다. 이슬점의 예측은 아래에 표현한 식 (1)을 이용하여 이슬점 온도를 구할 수 있다.⁽⁴⁾

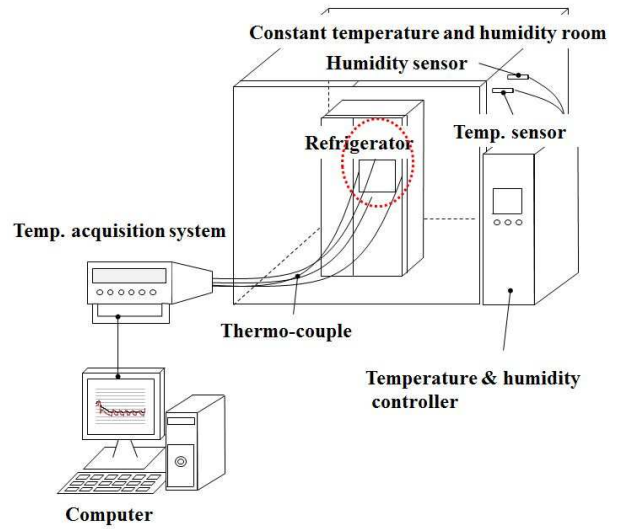
$$T_d = [b \cdot \gamma(T, RH)] / [a - \gamma(T, RH)] \quad (1)$$

여기서, $\gamma(T, RH) = [(a \cdot T) / (b + T) + \ln(RH/100)]$, T_d 는 이슬점의 온도 (°C)를 나타내며, T 는 공기의 온도 (°C), RH 는 상대습도(%), a 와 b 는 각각 17.27과 237.7°C의 값을 가지는 상수이다.

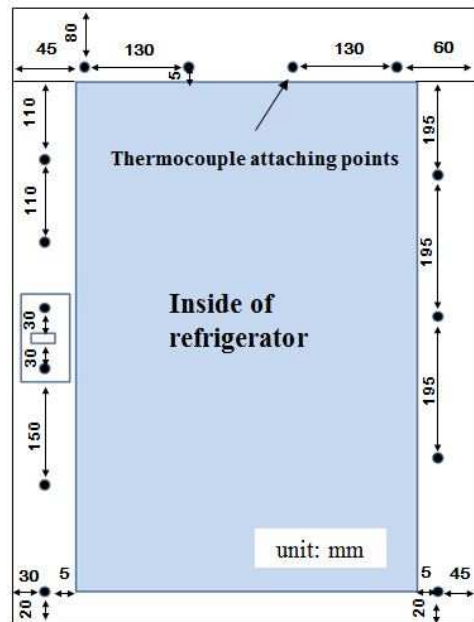
위의 식은 0°C < T < 60°C, 1% < RH < 100%, T_d < 50°C인 조건에서 유용하다.

2.2 내·외부 경계 영역 온도 측정

본 연구에서는 냉장고의 이슬 맺힘 실험조건으로 외부온도 32°C, 상대습도 85%로 하였다. 이



(a)



(b)

Fig. 1 (a) Schematic diagram of experimental setup for measuring temperature distribution under constant temperature and humidity conditions, (b) The position of attached thermocouples

조건에서 29.16°C가 이슬점이 되는 것을 식 (1)을 통해 알 수 있다. 이슬 맺힘 현상 분석을 위한 냉장고 작동조건으로, 냉동실은 -18°C, 냉장실은 3°C로 설정하였다. 이는 일반적인 사용자 환경에 근거한 냉장고 설정온도이다. 또한 정확한 이슬점을 알아보기 위해 온도와 습도를 일정

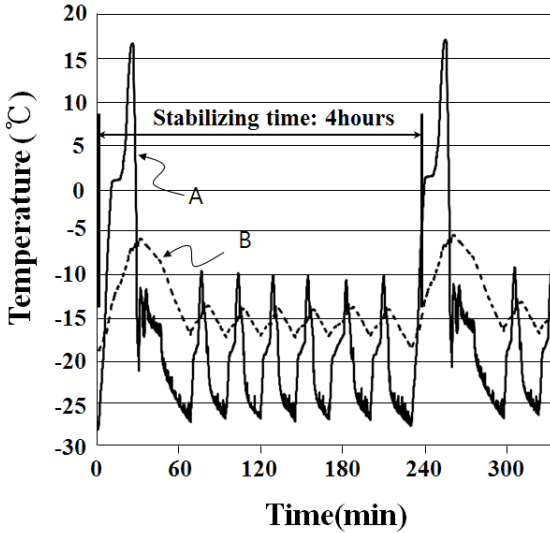


Fig. 2 Variation of temperature on the surface of evaporator depending on time (A: Temperature on inlet part of an evaporator, B: Temperature on outlet part of an evaporator)

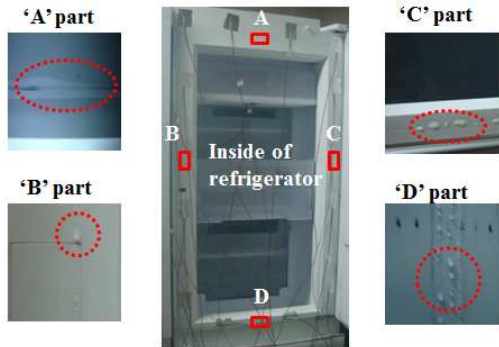


Fig. 3 Generated dews on the outer surface; inside of dotted circles

하게 유지시켜 주는 항온항습실에서 실험을 실시하였고, 표면온도 측정을 위해 열전대(thermocouple)를 사용하여 원하는 위치에 대한 온도분포를 얻도록 하였다(Fig. 1 참조). 일반적으로 냉장고를 운반하고 처음 가동할 때는 일정시간 안정화 과정을 거쳐야 설정한 온도의 성능을 발휘할 수 있다. 냉장고 안정화를 확인하기 위해 증발기의 입출구부에 열전대를 부착하여 Fig. 2와 같이 냉장고가 안정화 되는 주기(4시간)를 구하였다. 따라서 냉장고 작동상태가 완전히 안정화될 때 실험을 실시하였고, Fig. 1에 나타난 표면온도 측정은 응축기 가동이 일정한 2시간 기준으로 온도를 측정하고 평균값을 취하였다. Fig. 3에 나타난 것처럼 열선이 작동되지 않는 상태에서 가스켓의 궤적을 따라 홈바 도어의 가스켓과 맞닿

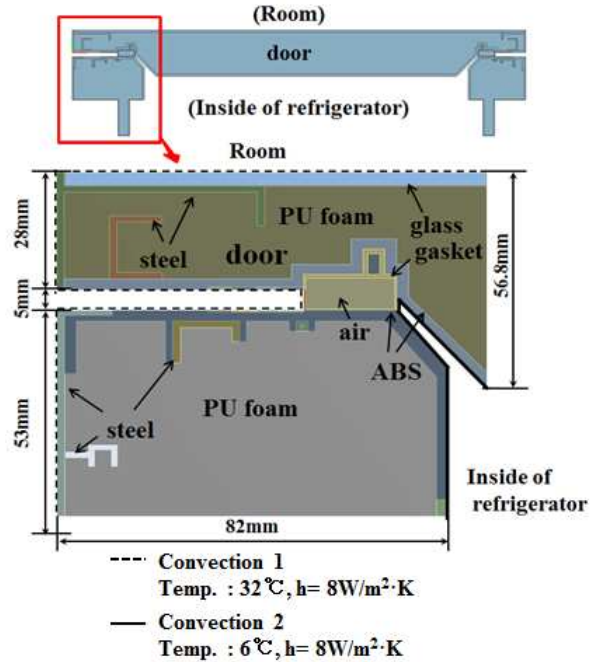


Fig. 4 Definition of analytical model and components and boundary conditions of analysis model

는 부분에서 외곽으로 10 mm 떨어진 표면 전 부분에서 이슬 맺힘, 성에 발생 현상이 집중적으로 발생하는데, 이는 외부공기와 고내의 경계를 이루는 가스켓의 근처로 볼 수 있다. 차가운 고내의 공기로 인해 외부의 따뜻한 공기가 열을 빼겨 상대적으로 냉장고 표면의 온도가 이슬점 이하로 내려간 것으로 사료된다.

3. 열전달 해석 모델의 구성

3.1 해석 모델

열전달 해석을 통해 냉장고의 문 주변, 특히 가스켓 주변의 온도 분포를 알아보고 이에 따라 가스켓 형상의 최적화와 내벽 두께변형을 사용한 최적의 열전달 모델을 제안하고자 한다. 열전달 해석에 사용된 해석모델의 물성은 Table 1과 같으며, 해석에 사용된 유한요소 해석프로그램은 ANSYS (ver.12.1, Ansys Inc.)을 사용하였다. 요소수는 약 60,000개이며 열전달은 식 (2)와 같이 일어난다.

$$q_x = \frac{\dot{Q}_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

여기서, q_x 는 열유속, k 는 열전도계수, A 는 단면적으로 나타낼 수 있다. 해석모델의 범위는 냉

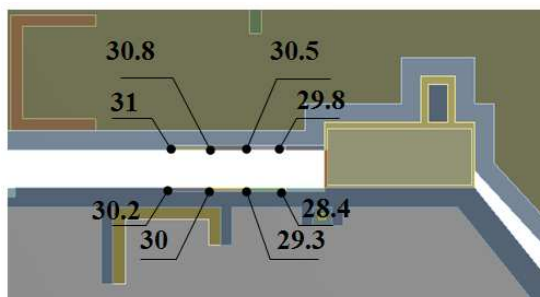
장고 문에서 가스켓 주변으로 국한하였다.(Fig. 4 참조)

3.2 해석 모델의 검증

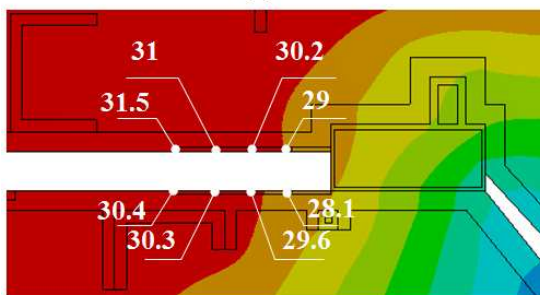
이슬 맺힘 현상의 전산해석을 통한 현상 분석을 위해서 이슬 맺힘 관찰 실험에 사용한 온도 및 습도조건을 경계조건으로 부여하여 해석을 실행하였다. 해석에 사용한 경계조건은 외부온도 32℃, 냉장실 내의 실제 측정 온도 6℃, 대류열전달계수 8 W/m²K를 외부와 냉장고내에 사용하였다.⁽⁵⁾ 이에 따른, 현상분석 실험 시 표면온도 분포와 전산해석의 결과는 Fig. 5 (a)~(b)와 같으며, 실험값과 해석 값을 비교하여 정리하면 Table 2와 같다. 실험값과 해석결과 값의 오차가 최소

Table 1 Materials and their thermal conductivity

Material	Thermal conductivity (W/m·K)
Steel	80
ABS	0.3
Glass	1.22
Gasket	0.35
PU Foam	0.0185



(a)



(b)

Fig. 5 Temperature distribution on around door; (a) experimental result, and (b) simulation result

-0.2℃ 최대 0.8℃차이를 보이며, 이에 따라 해석 모델이 실제 현상을 적절하게 구현할 수 있는 유효성을 가짐을 알 수 있다.

4. 가스켓 형상 설계 및 냉장냉동실 내벽 두께 변형

4.1 가스켓 설계 변수

4.1.1 가스켓 설계 변수 연구

냉장고 내부와 외부의 경계를 이루는 가스켓의 열차단 역할에 대하여 예비해석을 통해 알아보았다. 가스켓 주변에서 열유속(heat flux)이 집중되고 이로 인해서 냉장고 표면에 발생하는 이슬 맺힘 현상에 영향을 끼친다. 따라서 본 연구에서는 가스켓 형상의 설계변경을 통해 표면이슬 맺힘 현상을 감소시키고자 한다. 기존의 가스켓 형상을 10 mm확장한 해석을 통해 형상변경을 통해 효과를 확인해 볼 수 있었지만 가스켓중심의 온

Table 2 Comparison of experimental and analysis results (unit: ℃)

	Value _E	Value _A	Difference
1	31.0	31.5	-0.5
2	30.8	31	-0.2
3	30.5	30.2	0.3
4	29.8	29	0.8
5	30.2	30.4	-0.2
6	30	30.3	-0.3
7	29.3	29.6	-0.3
8	28.4	28.1	0.3

(Value_E = Experimental value, Value_A = Analysis value)

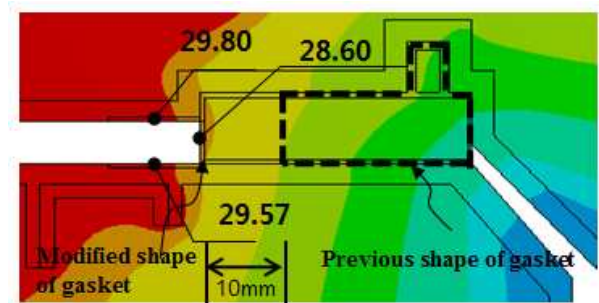


Fig. 6 Temperature distribution in case of 10 mm bigger gasket used

Table 3 Design parameters and their levels

parameters and levels (unit: mm)			
levels/parameters	a	b	c
1	19.5	10	15
2	24.5	15	20
3	29.5	20	25

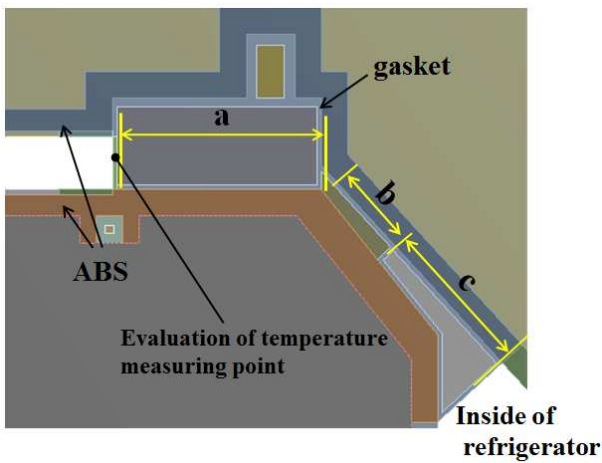


Fig. 7 Schematic diagram of design parameters of gasket

도가 이슬점 (29.16°C)보다 0.44°C 낮아 추가적인 가스켓 현상변경이 필요한 것을 Fig. 6의 결과를 통해 확인할 수 있었다. 가스켓 형상과 길이에 대한 설계 인자의 요인효과 분석을 위해서 다구찌기법(Taguchi method)을 이용하였으며, 3가지 설계인자를 선택하여 각각 3 수준으로 설정하였다. 설계인자 a는 주 가스켓(main gasket)의 길이로 내·외부의 공기흐름을 차단하는 주된 역할을 하며, 설계인자 b는 주 가스켓과 부 가스켓 (secondary gasket)을 연결하는 실리콘 길이를 의미하며, 설계인자 c는 부 가스켓의 길이를 나타낸 것으로 냉장고 내부의 냉기와 1차적으로 접하는 가스켓으로 냉기차단에 추가적인 효과를 가질 것으로 판단된다. 각 인자의 위치는 Fig. 7과 같이 나타내었고 설계 변수 연구를 위한 각 인자 값은 Table 3에 나타내었다.⁽⁶⁾

4.1.2 가스켓 형상 변경의 해석결과

다구찌기법에 의한 해석결과 Table 4를 살펴보면 a = 29.5 mm, b = 20 mm, c = 20 mm일 때 해석 결과의 평가지점에서 가장 높은 온도가 유지됨을 알 수 있다. 가스켓의 특성을 평가한 Fig. 8을 참고

Table 4 Orthogonal matrix and analysis results

a	b	c	Temperature (unit: °C)
1	1	1	28.44
1	2	2	29.52
1	3	3	29.73
2	1	2	29.48
2	2	3	29.99
2	3	1	29.65
3	1	3	30.00
3	2	1	29.91
3	3	2	30.14

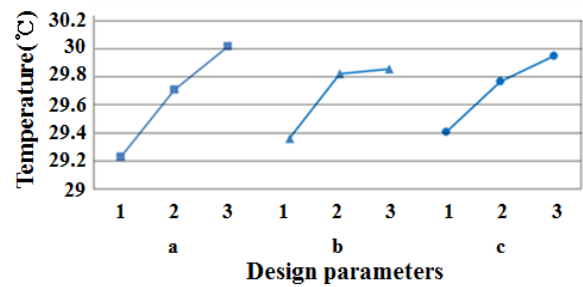


Fig. 8 Design parameter sensitivity depending on the temperature at the dew generating point

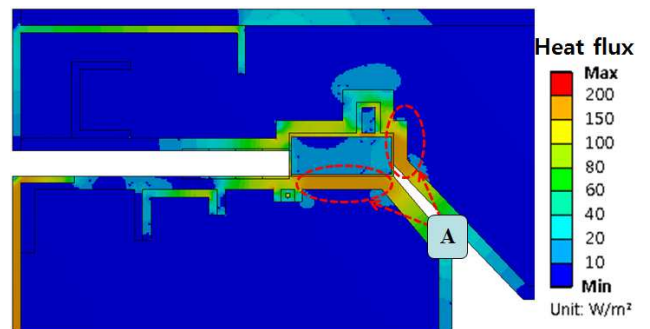


Fig. 9 Heat flux distribution on analysis model and 'A' part shows the heat flux concentration area

하면, 각 인자의 길이가 길수록 표면의 온도가 높아짐을 알 수 있다. 이유는 가스켓 내부에 충전되어 있는 공기가 상대적으로 다른 재료보다 낮은 열전도계수를 가져 표면의 이슬 맺힘을 방지하는데 효과가 있다고 추측해 볼 수 있다.

평가지점에서 비교했을 때 각 0.39, 0.87, 1.01 °C를 상회하였고, 모델(c)와 모델(a)를 비교했을 때 모

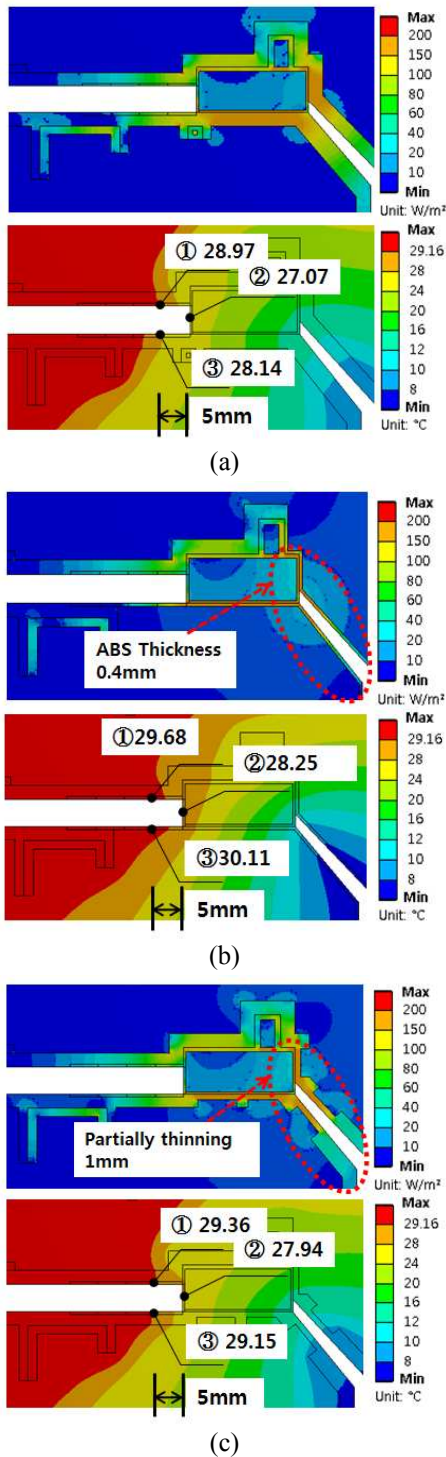


Fig. 10 (a) Temperature and heat flux distribution of normal model, (b) Temperature and heat flux distribution of inner-case thickness 0.4mm model. and (c) Temperature and heat flux distribution of partially thinning model

델(c)가 0.71, 1.18, 1.97 °C가 높아 이슬 맺힘 저감에 효과가 있을 것이라 예상된다. 또한 전반적으로 온도측정위치②의 온도가 다른 부분에 비하여 낮

Table 5 Comparison normal model with inner-case thinning model

unit: °C	①	②	③
(a)	28.97	27.07	28.14
(b)-(a)	+0.39	+0.87	+1.01
(c)	29.68	28.25	30.11
(c)-(a)	+0.71	+1.18	+1.97

기 때문에 향후 개선이 필요하다.

5. 결론

본 연구는 효율적인 전력소비 시스템 구축을 위해 이슬이 생기는 냉장고 표면근처의 히터를 제거하고 이를 대체할 가스켓 형상의 변형과 냉동냉장실 내벽 두께변형을 제안하고 효과를 검증하기 위해 히터가 없는 일반적인 모델과 같은 조건의 토대로 시행한 해석결과의 비교를 통해 전산해석 방법의 신뢰성을 정립하였고 그 전산해석 방법을 토대로 제안한 개선안의 전산해석을 실시하고 이슬 맺힘 저감 효과를 예측했다.

(1) 가스켓 형상을 다구찌기법을 통해 최적화하고 전산해석을 통해 효과를 알아보도록 하였다. 가스켓을 연장한 모든 경우가 일반적인 모델보다 1.37~3.07°C만큼 상회하여 전산해석으로 그 효과를 추측해 볼 수 있었다. 하지만 가스켓 길이의 연장의 경우 가스켓 면적이 넓어져 냉장고 개방력의 문제가 발생하게 된다. 이는 가스켓 형상의 변형은 단독으로 사용하기 보다는 외부열원 유도 시스템이나 냉동냉장실 두께변형과 복합적으로 적용하여 제작한다면 열선이 없는 상태에서도 이슬 맺힘을 개선하는데 효과가 있을 것이라 예상된다.

(2) 냉동냉장실 두께변형을 통해 열유속을 줄이기 위한 방법으로 냉장고 가스켓 주변의 표면온도가 일반적인 모델과 0.39°C ~ 1.97°C 차이를 보여 표면에 맺히는 이슬저감에 효과가 있다는 것을 전산해석을 통해 알 수 있었다. 향후 가스켓과 냉동냉장실 두께 변형 시험 모델제작 및 실험을 통해 해석 값의 검증을 한다면 본 연구의 타당성을 입증하는데 좋은 방법이 될 것이다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원(과제번호 : 20101720200020-12-3-01), 교육과학기술부의 선도연구센터 육성사업 학제간융합분야(NCRC)(과제번호: 2012-0000-965), 그리고 정부의 재원으로 한국연구재단(과제번호:K20703001798-11E0100-00310)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kim, S. J., Kang, S. H., Park, K. H., Yoo, W. S., Park, S. H. and Choi, H. J., 2011, "A Study on the Reduction of Dew Generation on a Surface Using Induced Heat from Room Temperature," *Journal of the KSPE*, Vol. 26, No. 1, pp. 1~2.
- (2) Lee, M. Y., Lee, D. Y. and Kim, Y. C., 2007, "A Study on the Heat Transfer Performance of an Energy-Nose Section in a Household Refrigerator-Freezer," *Trans. of the KSME B*, Vol. 31, pp. 574~580.
- (3) Jin, W. Y., Ha, J. S., Jung, K. S., and Kim, T. K., 2009, "A Research on Quantification and Sensitivity of Heat Loss in Residential Refrigerator," *Proceedings of the SAREK 2009 Winter Annual Conference*, pp. 221~226.
- (4) Barnberg, A.W.T., 1974, *Psychrometry and Psychrometric Charts*, Vol.3, Cape Town, Cape and Transvaal Prints Ltd.
- (5) Borgnakke, C. and Sonntag, R. E., 2010, "Fundamentals of Thermodynamics," Wiley, Vol. 7.
- (6) Lee, S. B., 2006, "Taguchi Method by Using Minitab," Minitab, Korea, Vol. 2, pp.36~40.
- (7) Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S., 2007, "Heat Transfer," John Wiley & Sons, Asia, Vol. 5, pp. 59~60.